

# **ВЫБРАННЫЕ ПРИМЕРЫ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКИ ДЛИННЫХ ИЗДЕЛИЙ, РАЗРАБОТАННЫХ В ИНСТИТУТЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ**

## **CHOSEN EXAMPLES OF A NEW LONGITUDINAL ROLLING PROCESS OF LONG PRODUCTS DEVELOPED IN THE INSTITUTE OF MODELING AND AUTOMATION OF PLASTIC WORKING PROCESSES**

ДЫЯ ХЕНРЫК ИОСИФОВИЧ, МРУЗ СЕБАСТЬЯН АНДРЕЕВИЧ

Ченстоховский Технологический Университет  
Факультет Обработки Металлов Давлением и Инженерии Безопасности  
Ал. Армии Крайовой 19, 42-200 Ченстохова, Польша  
e-mail: dyja@wip.pcz.pl; mroz@wip.pcz.pl

### **Abstract**

In the work chosen results of theoretical and experimental investigations of longitudinal rolling process of long products were presented. The investigations were realized within last years in the Institute of Modeling and Automation of Plastic Working Processes at Czestochowa University of Technology.

Presented results in majority were obtained from investigations commissioned by international metallurgical companies such as CMC Zawiercie S.A. and ArcelorMittal Poland S.A. New developed technologies were directly implemented in the industrial conditions.

Уже несколько лет, работающие в Факультете Инженерии Технологических Процессов, Материалов и Прикладной Физики Ченстоховского Технологического Университета, участвуют в реализации целенаправленных проектов, а также в исследованиях по подряду, касающихся прокатки длинных изделий, которых результаты введено непосредственно в промышленных заводах. Особенно Институт Моделирования и Автоматизации Технологических Процессов Обработки Давлением (ИМиАТПОД) имеет многие достижения в этой области, сотрудничая от многих лет с Банковским литейным заводом, Литейным заводом Заверце, Литейным заводом Бучэк, ArcelorMittal Poland, Литейным заводом Lucchini, а также с другими промышленными заводами. Следует подчеркнуть что, большинство этих разработок было непосредственно поручено ведущими металлургическими мировыми концернами, в том числе CMC Заверце S.A., а также ArcelorMittal Poland S.A.

К самым большим проектом реализованным в последние годы в ИМиАТПОД можно причислить целенаправленный проект под заглавием: „Оптимизация технологии выплавки стали в дуговой электропечи и непрерывного литья стали а также открытие новейших ассортиментов длинных изделий" в CMC Заверце S.A. В результате реализации разработано технологию производства новейших ассортиментов прокатанных изделий из стали – плоских прутков 50x4 мм а также рёбровых прутков диаметром 8 и 40 мм [1, 2]. В рамках проекта приготовлено установку о улучшению существенных технологичных элементов – начиная с приготовления шихты, выплавки стали в w дуговой электропечи постоянного литья стали, по процесс прокатки и управления свойствами готового изделия [3]. К пространственному моделированию деформационного состояния

прутков во время прокатки, применено собственную компьютерную программу SortRoll. Применение этой программы в локальных условиях прокатного цеха CMC Заверце S.A., сделало возможным уменьшение стоимости калибровки валков и введение технологии прокатки новых изделий. Чтобы улучшить точность размеров (прокатка при узком диапазоне отклонений размеров) готовых изделий, проведено точный анализ причин возникновения этих отклонений с учетом изменения подзавода полосы и условий формирования петли между прокатными клетками [4]. При помощи системы Gleeble3800 и дилатометра z с пластометрической приставкой DIL 805 A/D определено пластически- прочностные характеристики определенных типов стали, с целью управления свойствами готовых изделий на этапе постоянного литья слитков а также прокатки. Разработана в рамках проекта новая технология производства прокатанных изделий из стали, привела к увеличению актуальной оферты ассортимента в CMC Заверце S.A. на отечественном и международном рынке длинных изделий.

Следующим проектом реализованным для CMC Заверце S.A. был целенаправленный проект под заглавием: „Оптимизация и введение новой технологии прокатки прутков при продольной разрезке полосы в прокатном ходе" в CMC Заверце S.A. В рамках проекта разработано новейшие технологий прокатки ребровых прутков при продольной разрезке полосы во время прокатного хода, с целью увеличения производительности прокатного цеха и снижения стоимости производства, а также обеспечения требуемого качества готовых изделий, характеризующихся повышенными свойствами [5]. Применение собственных и коммерческих программ в условиях среднего прокатного цеха прутков CMC Заверце S.A., в диапазоне проектирования технологии

процессов, позволило на разработку технологии прокатки ребровых прутков при продольной разрезке полосы во время прокатки 8, 10, 12, 14, 16 и 20 мм при минимальном числе лабораторных и промышленных образцов, что уменьшило стоимость введения калибровки валков и технологии прокатки [5, 6]. Введение производства ребровых прутков диаметром 8, 10 и 12 мм в четырёхжильную технологию ребровых прутков 14 и 16 мм, в трёхжильную технологию также ребровых прутков 20 мм, в двухжильную технологию, по сравнению с до сих пор применяемой технологией, привело к значительному (с 30 до 50%) увеличению производительности прокатного цеха, уменьшению износа электродвигателя во время деформаций металла (с 20 до 35%), уменьшению износа газа (с 5 до 15%), уменьшению удара металла во время нагревания и уменьшению количества окалина появляющейся во время прокатки [5]. Как пример последнего проекта реализованного для СМС Заверце S.A., можно привести целенаправленный проект под заглавием „Введение нового способа прокатки прутков из квадратных слитков о боке 150 мм и производства катанки которой диаметр составляет 13,0÷14,5 мм и нового ассортимента прутков нормализованных в прокатном ходе”. В рамках проекта разработано и введено новую технологию прокатки круглых прутков которых диаметр составляет 12÷15 мм, ребровых прутков диаметром 8 мм произведенных согласно четырёхжильной технологии, квадратных прутков которых размеры достигают от 10 до 14 мм и плоских прутков которых размеры находятся в диапазоне от 25х5 мм до 35х20 мм. В результате реализации проекта в отделе прокатного цеха катанки введено производство не произведенной до сих пор катанки, которой диаметр составляет от 13,0 до 14,5 мм, предназначенной для дальнейшей пластической обработки холодным способом. Открытие производства нового ассортимента круглых и плоских прутков, нормализованных в ходе прокатки, повлияло на увеличение диапазона услуг и продуктов предлагаемых фирмами являющимися получателями изделий СМС Заверце S.A., а тем самым привело к увеличению конкурентоспособности [7-10].

Результаты исследований проведенных в рамках вышесказанных проектов внедрено во введущем литейном заводе в Польши, то есть в СМС Заверце S.A. Применение результатов целенаправленных проектов а также реализация порученных исследований увеличила конкурентоспособность вышесказанного завода. В настоящее время СМС Заверце S.A. является ведущим производителем длинных изделий на отечественном рынке в области металлургических изделий.

Кроме целенаправленных проектов ИМиАТПОД реализует также проекты касающиеся исследований, которых результаты будут основой для разработки новых промышленных технологий. В 2007 г. начали реализацию двух проектов

касающихся „Разработки технологий производства ребровых, коррозионноустойчивых, биметаллических прутков” а также „Оптимизации условий технологий постоянного литья слитков о прямоугольном и квадратном сечении, с особенным учетом проблематики возникновения внутренних и поверхностных трещин”. Цель первого проекта заключалась в разработке технологии производства ребренных биметаллических прутков, в которых стержень изготовлено из угольной стали конструктивной C45, а плакирующий слой из коррозионноустойчивой стали 00H18N10. С целью изготовления шихты – круглого биметаллического прутка – применено 3 метода: метод сварки через взрыв, метод прокатки в трёхвалковом стане косой прокатки а также метод теплового распыления покрытий. В рамках проекта разработано калибрование валков, благодаря которому возможным является получение ребровых прутков биметаллических о равномерном и лишенном трещин плакирующем слое [11-12]. Зато в рамках второго проекта разработано трёхмерную математическую модель процесса COS с учетом движения жидкой фазы, напряжений возникающих внутри поверхности а также эффектов износа электромагнитической мешалки. Благодаря разработанной модели возможным являлось определение влияния изменения технологических параметров процесса литья а также эффектов установки электромагнитической мешалки. Эту модель проверено в промышленных условиях. На основе результатов симуляций и металлографических исследований определено оптимальный диапазон изменений технологических параметров процесса, для которых не выступает явление возникновения трещин. На этой основе разработано установки и рекомендаций, которых цель заключается в улучшении качества слитков из исследуемых типов стали, с учетом минимизации количества выступающих трещин. Кроме того, анализу подвергли возможности развития и модернизации установки COS, например путем установки электромагнитической мешалки [13].

Работающие в ИМиАТПОД участвовали также в проекте развития под заглавием: „Разработка основ промышленных технологий формирования структуры и свойств изделий из металла и сплавов при использовании метод физической симуляции и номерной”. Этот проект был реализован консорциумом, в которого состав входит: Институт Металлургии Железа как координатор, Ченстоховский Технологический Университет, Силезкий Технологический Университет, Горно-Металлургическая Академия и Варшавский Технологический Университет. Главная цель этого проекта заключалась в разработке технологии тепло-пластической переработки выбранных типов стали, гарантирующих получение определенного качества готовых изделий, характеризующихся возможно высокой прочностью при соблюдении хорошей пластичности и стойкость к ударам. В исследованиях применено три группы типов стали:

нелегированная сталь, мелкозернистая конструктивная сталь, конструктивная сталь многофазная а также экспериментальная, высокоугольная сплавная бейнитная сталь. Работу связанную с проектом в ИМиАТПОД разделено на 5 групп. В рамках первого этапа реализовано номерные и физические симуляций фазовых изменений возникающих в стали во время постоянного охлаждения и изотермического прогрева. Номерные исследования проведено при помощи коммерческой программы TTSteel, зато физическую симуляцию при помощи дилатометра с приставкой DIL 805 A/D. Веденные разработки касались всех трех групп анализируемых в проекте типов стали. Опираясь на проведенные исследования разработано графики СТРi, СТРс а также ОСТРс. Второй и третий этап введенный разработок касался тестирования и номерной проверки моделей прокатки жести и прутков из мелкозернистой стали конструктивной а также высоко угольной бейнитной стали. Модели прокатки были разработаны в Силезком технологическом университете, зато в ИМиАТПОД их внедрено в программу Forge 2009®. Во время исследований проведено анализ эффективности предусматривания через разработку моделей деформационного состояния и условий текучести стали в условиях пол-промышленной прокатной линии установленной в Институте Металлургии Железа [14-17]. На четвертом этапе разработки, при помощи установки Gleeble 3800 проведено физическую симуляцию прокатки жести из мелкозернистой стали конструктивной и высоко угольной бейнитной стали. Во время симуляций проведенных по отношению к мелкозернистой стали исследовано влияние условий прокатки регулируемой при ускоренным охлаждению, непосредственно после прокатки, на структуру и свойства стали после охлаждения температуры окружения. Во время тестов анализируется разные схемы деформации, разные температуры конца цикла деформаций, скорость ускоренного охлаждения, время перерыва между конечной деформацией и началом ускоренного охлаждения а также разные температуры конца ускоренного охлаждения. На основе проведенных исследований определено оптимальные условия прокатки и охлаждения жести так для реверсивных прокатных станов как и непрерывных, гарантирующие максимальное разделение зерна феррита и получение структуры феррито-перлитной. Во время физической симуляции получено разделение зерна феррита в около 4  $\mu\text{m}$  в условиях отвечающих прокатке в реверсивном прокатном стане и ниже 2  $\mu\text{m}$  для условий выступающих в непрерывном прокатном стане. Исследования касающиеся высоко угольной бейнитной стали относились к определению тягучести в диапазоне температур и скорости деформаций выступающих в условиях прокатки толстой жести в реверсивных прокатных станах а также физические симуляций процесса прокатки при учете способа охлаждения стали после деформации.

Исследуемая сталь является экспериментальным сплавом, которого конечные свойства - очень высокое сопротивление растяжению (около 1,5 GPa) при соблюдении хорошей пластичности – получаются во время продолжительной, низкотемпературной термообработки. Цель исследований заключалась в определении условий охлаждения от температуры конца прокатки до температуры окружности или температуры отделки термообработки, таким способом чтобы соблюдать в структуре возможно самое большое количество остаточного аустенита.

Последним пятым этапом разработки было получение оптимальных условий прокатки прутков из мелкозернистой стали конструктивной. Исследования проведено также при применении симулятора Gleeble 3800, а анализу подвергли так как в четвертом этапе, разные схемы деформаций и температуры конца прокатки, разные скорости ускоренного охлаждения после последней деформации, время перерыва перед началом ускоренного охлаждения и температура конца ускоренного охлаждения. Исследования опирающиеся на симуляциях были проведены для условий отвечающих прокатке в линейных прокатных станах а также в непрерывных системах. На основе проведенных экспериментов определено условия прокатки и охлаждения прутков, гарантирующее получение конечного продукта со феррито-перлитной структурой и раздроблением зерна феррита ниже 2  $\mu\text{m}$ .

Кроме целенаправленных проектов и исследований ИМиАТПОД уже много лет реализует непосредственные поручения промышленных заводов. Примером можно считать разработки проведенные для СМС Заверце S.A. Они главным образом касаются определения нового калибрования валков для длинных изделий а также проверку калибрования при применении сложных номерных методов [18-24].

Исследовательская работа под заглавием: „Определение технологии прокатки круглых прутков которых диаметр составляет 52÷75 мм согласно DIN и EN, прокатываемых из квадратных слитков, которых бок имеет 160 мм а также использование документаций калибрования валков” касалась разработки технологии прокатки круглых, гладких прутков диаметром 52÷75 мм согласно DIN и EN, прокатанных из квадратных слитков которых бок составляет 160 мм, прокатываемых в средней прутков СМС Заверце S.A. вместе с изготовлением документаций калибровки валков.

В связи с постройкой нового прокатного цеха прутков в СМС Заверце S.A. ИМиАТПОД реализовал цикл испытующе-развивающий касающийся:

- проверка калибрования валков для прокатки круглых, гладких прутков и ребровых прутков а также квадратных [20, 23],

- проверка калибровки валков для прокатки равнобедренных угольников и швеллеров [24],
- проверка калибровки валков для прокатки плоских прутков, которых размеры оставляют от 35x5 до 200x20 мм [19, 21, 22].

Эти работы касались проверки калибровки валков при применении самых развитых номерных метод для круглых, гладких прутков диаметром от 16 до 96, круглых ребровых прутков, в том числе и прокатанных в многожильных технологии диаметром от 14 до 40 а также квадратных прутков которых бок составляет от 18 до 65 мм, равнобедренных угольников о размерах 40x4 до 130x12 мм и швеллеров, которых размеры это 50x25 до 140x60 мм, плоских прутков от 35x5 до 200x20 мм. Проверенное калибрование валков применено в производстве длинных изделий в новом непрерывном прокатном цехе прутков в СМС Заверце S.A.

Работающие в ИМиАТПОД реализовали также испытующе-развивающее поручение от ArcelorMittal Poland S.A. касающееся „Определения технологии производства отборников K54E1 и KUIC54 нужных при производстве ребровых подкладок в условиях Литейного королевского завода ArcelorMittal Poland S.A.”. В результате работы определено новое калибрование валков и запроектировано прокатных инструментов для производства ребровых подкладок в прокатном цехе D815. В рамках работы проведено номерное моделирование пластической текучести металла во время прокатки отборников K54E1 и KUIC54 при применению сложных номерных методов.

## Подведение итогов

В настоящей работе представлено выбранные результаты исследований касающихся прокатки длинных изделий, которые проведено в последние годы в Институте Моделирования и Автоматизации Технологических Процессов Обработки Давлением Ченстоховского Технологического Университета. Новейшая лабораторная база и прежде всего специализированна кадра сделали возможным определение новых технологий прокатки длинных изделий, которые непосредственно внедрено в промышленные условия. Это повлияло на увеличение конкурентоспособности среди заводов, на отечественном и мировом рынке изделий из стали, в которых внедрено эти разработанные технологий.

## Литература

1. Mróz S., Szota P., Dyja H.: Numerical Modeling of Rolling Process Using Longitudinal Slitting Passes, AISTech 2005 Processing of the Iron and Steel Technology Conference Vol. II, May 9-12, Charlotte, USA, p.775-783
2. Mróz S.: Modelowanie walcowania prętów żebrowanych otrzymanych metodą wzdłużnego rozdzielania pasma, Politechnika Warszawska, Fizyczne i Matematyczne Modelowanie Procesów Obróbki Plastycznej FiMM'2005, Prace Naukowe, Mechanika, z. 207, Warszawa 20-21 maj, s. 65-70
3. Dyja H., Derda W., Siwka J., Mróz S.: Optimization of Steelmaking Technology and Start-up of Production of a New Long Steel Products, 10<sup>th</sup> International Conference under auspices of Minister of Polish Academy of Science on Switching ARC Phenomena joint with the Polish Grant Session on Switchgear and ARC Technologies, Lodz, 19-22 September 2005, Institute of Electrical Apparatus, Technical University of Lodz, s. 380-381.
4. Szota P., Modelowanie plastycznego zginania pasma pomiędzy kłatkami podczas ciągłego walcowania prętów, Metalurgia 2006, Konferencja Sprawozdawcza Komitetu Metalurgii PAN, Krynica-Czarny Potok, 2006, s. 607-612,
5. Mróz S.: Proces walcowania prętów z wzdłużnym rozdzielaniem pasma, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Seria: Monografie nr 138, Częstochowa 2008, ISBN 978-83-7193-369-1, ISSN 0860-5017.
6. Mróz S.: Modification of the roll pass design to the bar rolling process with longitudinal band separation, Archives of Metallurgy and Materials, Vol. 54, (2009), p. 597-605
7. Laber K., Mróz S.: Wpływ walcowania normalizującego na dokładność wymiarową prętów okrągłych, Nowe Technologie i Osiągnięcia w Metalurgii i Inżynierii Materiałowej, Częstochowa 2008, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, s. 238-241
8. Mróz S., Dyja H., Laber K.: Influence of the Round Bars Normalizing Rolling Process on the Energy and Force Parameters, Steel Research International, Special Edition, Volume 1, 21-24 September 2008, pp. 410-416
9. Laber K., Dyja H., Mróz S.: The influence of rolling temperature on energy and force parameters during normalizing rolling of plain round bars, Materials Science Forum, Vol 638-642 (2010). Pp. 2628-2633,
10. Mróz S., Szota P., Stefanik A., Dyja H.: Microstructure numerical modelling change during the round bars rolling, Materials Science Forum, Vols. 715-716, (2012) pp. 883-888.
11. Szota P., Mróz S., Sawicki S., Stefanik A.: Theoretical analysis of the Bimetallic Bars Rolling in Three-high Skew Rolling Mill Process, Steel Research International, Special Edition, Volume 1, 21-24 September 2008, pp. 403-409
12. Sawicki S., Szota P., Mróz S., Dyja H.: Numerical modelling of the process of bimetallic bar rolling in a three-high skew rolling mill, Computer Methods in Materials Science, Informatyka w Technologii Materiałów, Vol. 9, 2009, No. 1, p. 130-136
13. Janik M.: Effect of Electromagnetic Stirring Intensity on the Sheel Thickness in Process of

- Continuous Casting of Steel, Hutnik - Wiadomości Hutnicze, nr 5, 2010, s. 228-230
14. Knapieński M., Dyja H., Kwapisz M., Kawalek A., Frączek T.: Analiza wpływu temperatury końca walcowania na mikrostrukturę blach grubych z superdrobnoziarnistej stali konstrukcyjnej, Hutnik - Wiadomości Hutnicze, Rok LXXVI, Maj 2009, Nr 5, s. 330-335
  15. Kawalek A., Dyja H., Mróz S., Szota P.: Modelirovanie prokatki tolstykh listov s ispol'zovaniem programmy FORGE2008®, Vtoraja Mezhdunarodnaja nauchno-tekhnicheskaja konferencija, IMET RAN, 26-27 oktjabrja 2010 goda, Moskva, s. 135-141
  16. Knapieński M., Kwapisz M., Kawalek A.: Analysis of the Plasticity of High-Carbon Alloy Steel in the Conditions of Hot Plastic Working, Solid State Phenomena, Vol. 165 (2010), pp 85-90
  17. Knapieński M., Dyja H., Kwapisz M.: Fizyczne symulacje procesu kontrolowanego walcowania prętów z eksperymentalnej superdrobnoziarnistej stali konstrukcyjnej, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, Stal dla nowoczesnego społeczeństwa, Technologie i wyroby, Tom 62, Nr 1/2010, s. 78-82
  18. Sygut P., Mróz S., Sawicki S., Dyja H.: Numeryczna weryfikacja kalibrowania walców kątownika równoramiennego równoramiennego wymiarach 130x12 mm, Konf. Nowe technologie i osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej, Seria: Materiały Konferencyjne nr 1, Częstochowa 2009, s. 68-71
  19. Skura T., Mróz S.: Numeryczne modelowanie procesu walcowania prętów płaskich o wymiarach 200x20 mm, VII Sympozjum Modelowanie i Symulacja Komputerowa w Technice, Łódź 2010, s. 147-150
  20. Wąsek S., Mróz S., Dyja H.: Numeryczna weryfikacja kalibrowania walców dla prętów żebrowanych o średnicy 40 mm, VII Sympozjum Modelowanie i Symulacja Komputerowa w Technice, Łódź 2010, s. 181-184
  21. Skura T., Stefanik A., Mróz S., Dyja H.: Zastosowanie programu komputerowego opartego na MES do weryfikacji kalibrowania walców do walcowania prętów płaskich, XI Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Nowe technologie i osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej, seria: Materiały konferencyjne nr 2, Częstochowa 2010, s. 301-304
  22. Laber K., Sygut P., Mróz S., Dyja H.: Numerical verification of the rolls calibration for 200x6 mm flat bars rolling, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, Nr 5, 2010, s. 214-216,
  23. Sygut P., Mróz S., Dyja H.: Numeryczna weryfikacja kalibrowania walców prętów okrągłych, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Nr 13, 2010, s. 131-136
  24. Szota P., Mróz S., Stefanik A., Dyja H.: Numeryczne modelowanie procesu walcowania ceownika, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, Vol. 30, nr 1, 2010, s.151-158